

## BAB VII

### PERANCANGAN BUKAAN PADA SPSW

Pada segmen ini akan dibahas bagaimana prosedur untuk memberikan *void* / bukaan pada SPSW. Pada dasarnya dengan adanya bukaan, kuat geser pelat akan berkurang sehingga perlu disetarakan dengan bantuan pelat yang lebih tebal dan *local boundary elements* (balok dan kolom yang menopang bukaan). Teori dasar dan penjelasan perilakunya dapat dilihat pada bab II. Yang akan dirancang pada contoh perhitungan ini adalah SPSW pada lantai 5, bukaan berbentuk segi-4 sederhana dengan lebar 150 cm dan tinggi 60 cm. Berikut adalah data – data yang diperlukan untuk perencanaan bukaan.

#### **Kolom 920x1072**

dc	: 1,046 m	twc	: 0,055 m	Rx	: 0,4097 m
bcf	: 0,451 m	Agc	: 0,137 m <sup>2</sup>	Ry	: 0,1057 m
tcf	: 0,0991 m	Ic	: 0,023 m <sup>4</sup>		

#### **Balok 460x349**

db	: 0,536 m	twb	: 0,0295 m	Rx	: 0,2141 m
bbf	: 0,296 m	Agb	: 0,445 m <sup>2</sup>	Ry	: 0,0724 m
tbf	: 0,0536 m	Ib	: 0,00204 m <sup>4</sup>		

#### **Data Lainnya**

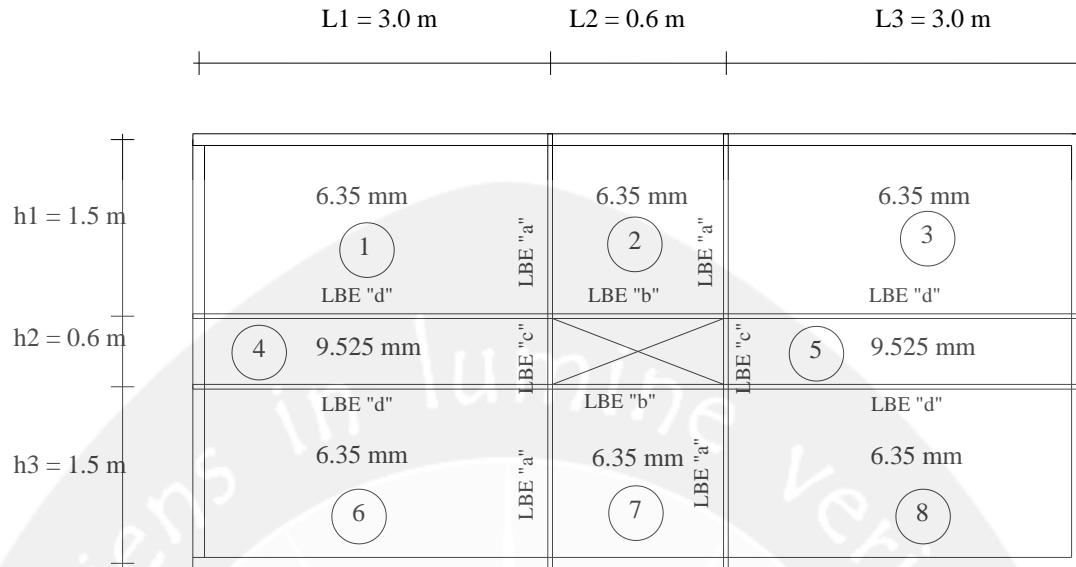
Ry	= 1,3	h2	= 0,6 m	Lcf	= 6,454 m
----	-------	----	---------	-----	-----------

$$\begin{array}{llll}
 F_y & = 250 \text{ MPa} & L_1=L_3 = 3\text{m} & t_w & = 6,35 \text{ mm} \\
 h_1=h_3 & = 1,5 \text{ m} & L_2 & = 1,5 \text{ m} & h_c & = 3,064 \text{ m}
 \end{array}$$

Dari perhitungan pada bab – bab sebelumnya, diketahui bahwa pelat yang digunakan pada lantai 5 adalah pelat setebal 6,35 mm dengan  $F_y = 250 \text{ MPa}$ . Dengan bukaan yang telah ditentukan diatas, maka dengan interpolasi linear sederhana, tebal pelat pada  $h_2$  dapat diasumsi sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 t_{w_{h_2}} &= t_{w_{h_1}} \times [L_{cf} / (L_{cf} - h_2)] \\
 &= 3,6 \times [6,454 / (6,454 - 0,6)] = 8,3 \text{ mm, digunakan pelat } h_2 \text{ 9,525 mm.}
 \end{aligned}$$

Dengan begitu, pelat disamping kiri dan kanan bukaan akan menggunakan pelat dengan tebal 9,525 mm, sedangkan untuk panel yang lain tetap 6,35 mm. kemudian *Local Boundary Elements* harus dipasang setinggi HBE dibawah hingga HBE diatasnya, dan sepanjang VBE kiri ke VBE di kanannya. Model SPSW dengan bukaan pada lantai 7 ditunjukkan pada gambar. Langkah berikut adalah menghitung beban yang bekerja pada LBE.



Gambar 5.1. Model SPSW dengan bukaan pada lantai 7

**LBE a**

Beban transversal yang bekerja,  $w_u = 0$ .

Beban aksial yang terdistribusi,  $v_u = 0$

Reaksi gaya geser,  $V_u = 0$

Momen yang terjadi,  $M_u = 0$

Gaya tekan aksial adalah reaksi dari LBE "c"

$N_u : \frac{1}{4} R_y F_y t_2 h_2$

$: \frac{1}{4} (1,3) 250000 (0,009525) 0,6 : 464,344 \text{ kN}$

Kebutuhan *out-of-plane moment of inertia*.

$I \geq L_1 t_2^3 j$ , dengan  $j = 2,5 (\sum h/L_1)^2 - 2 \geq 0,5$

$J = 2,5 \times [(1,5+0,6+1,5) / 3]^2 - 2 = 1,6 \geq 0,5 \dots\dots\text{OK!}$

$I \geq 3 \times 0,009525^3 \times 1,6 = 4,15 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$

**LBE b**

Beban transversal yang bekerja

$$w_u : \frac{1}{2} R_y F_y t_1 : \frac{1}{2} \times 1,3 \times 250000 \times 0,00635 : 1031,875 \text{ kN/m}$$

Beban aksial yang terdistribusi,

$$v_u : \frac{1}{2} R_y F_y t_1 : \frac{1}{2} \times 1,3 \times 250000 \times 0,00635 : 1031,875 \text{ kN/m}$$

Reaksi gaya geser,

$$V_u : w_u L_2 / 2 : (1031,875 \times 1,5) / 2 : 773,9063 \text{ kN}$$

Momen yang terjadi,

$$M_u : w_u L_2^2 / 12 : 1031,875 \times 1,5^2 / 12 : 193,4766 \text{ kNm}$$

Gaya aksial pada ujung kiri,

$$\begin{aligned} N_{uL} &: \frac{1}{4} F_y R_y [t_1 L_2 - t_1 h_1] \\ &: \frac{1}{4} 1,3 250000 [(0,00635 \times 1,5) - (0,00635 \times 1,5)] : 0 \text{ kN} \end{aligned}$$

Gaya aksial (tekan) pada ujung kanan,

$$\begin{aligned} N_{uL} &: \frac{1}{4} F_y R_y [t_1 L_2 + t_1 h_1] \\ &: \frac{1}{4} 1,3 250000 [(0,00635 \times 1,5) + (0,00635 \times 1,5)] : 1547,813 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kebutuhan *in-plane moment of inertia*,

$$\begin{aligned} I &\geq 0,00307 \left( \frac{t_1 L^4}{h_1} \right) \\ &\geq 0,00307 \left( \frac{0,00635 \times 1,5^4}{1,5} \right) : 6,85 \times 10^{-5} \text{ m}^4 \end{aligned}$$

**LBE c**

Beban transversal yang bekerja

$$w_u : \frac{1}{2} R_y F_y t_2 : \frac{1}{2} \times 1,3 \times 250000 \times 0,009525 : 1547,813 \text{ kN/m}$$

Beban aksial yang terdistribusi,

$$v_u : \frac{1}{2} R_y F_y t_2 : \frac{1}{2} \times 1,3 \times 250000 \times 0,009525: 1547,813 \text{ kN/m}$$

Reaksi gaya geser,

$$V_u : w_u h_2 / 2 : (1031,875 \times 0,6) / 2 : 464,344 \text{ kN}$$

Momen yang terjadi,

$$M_u : w_u h_2^2 / 12 : 1547,813 \times 0,6^2 / 12 : 46,434 \text{ kNm}$$

Gaya aksial pada ujung atas,

$$\begin{aligned} N_{u \text{ top}} &: \frac{1}{4} F_y R_y [t_1 (L_2 + L_1) - t_2 (h_2 + L_1)] \\ &: \frac{1}{4} 1,3 250000 [(0,00635 \times (3 + 1,5)) - (0,009525 \times (0,6 + 3))] \\ &: -464,344 \text{ kN} \end{aligned}$$

Gaya aksial pada ujung bawah,

$$\begin{aligned} N_{u \text{ bott}} &: \frac{1}{4} F_y R_y [t_1 (L_2 + L_1) + t_2 (h_2 - L_1)] \\ &: \frac{1}{4} 1,3 250000 [(0,00635 \times (3 + 1,5)) + (0,009525 \times (0,6 - 3))] \\ &: 464,344 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kebutuhan *in-plane moment of inertia*,

$$\begin{aligned} I &\geq 0,00307 \left( \frac{t^2 h^4}{L_1} \right) \\ &\geq 0,00307 \left( \frac{0,009525 \times 0,6^4}{3,0} \right) : 1,26 \times 10^{-6} \text{ m}^4 \end{aligned}$$

### **LBE d**

Beban transversal yang bekerja

$$\begin{aligned} w_u &: \frac{1}{2} R_y F_y (t_2 - t_1) : \frac{1}{2} \times 1,3 \times 250000 \times (0,009525 - 0,00635) \\ &: 515,9375 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Beban aksial yang terdistribusi,

$$\begin{aligned} v_u &: \frac{1}{2} R_y F_y (t_2 - t_1) &: \frac{1}{2} \times 1,3 \times 250000 \times (0,009525 - 0,00635) \\ &: 515,9375 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Reaksi gaya geser,

$$V_u : w_u L_1 / 2 : (515,9375 \times 3,0) / 2 : 773,9063 \text{ kN}$$

Momen yang terjadi,

$$M_u : w_u L_1^2 / 12 : 515,9375 \times 3,0^2 / 12 : 386,953 \text{ kNm}$$

Gaya aksial pada ujung kiri,

$$\begin{aligned} N_{uL} &: \frac{1}{4} F_y R_y [(t_1 \times (h_1 - 2L_1 - L_2)) - (t_2 \times (h_2 + 2L_1))] \\ &: \frac{1}{4} 1,3 \ 250000 [(0,00635 \times (1,5 - (2 \times 3) - 1,5)) - (0,009525 \times (0,6 + (2 \times 3)))] \\ &: 2012,156 \text{ kN} \end{aligned}$$

Gaya aksial (tekan) pada ujung kanan,

$$\begin{aligned} N_{uR} &: \frac{1}{4} F_y R_y [(t_1 \times (h_1 - L_2)) + t_2 h_2] \\ &: \frac{1}{4} 1,3 \ 250000 [(0,00635 \times (1,5 - 1,5)) + (0,009525 \times 0,6)] \\ &: 464,344 \text{ kN} \end{aligned}$$

Untuk batang serupa yang terletak pada sisi kanan SPSW (diantara panel 3 dan 5),

$$\begin{aligned} N_{u_{sim}} &: \frac{1}{4} F_y R_y [(t_1 \times (h_1 + L_2)) + t_2 h_2] \\ &: \frac{1}{4} 1,3 \ 250000 [(0,00635 \times (1,5 + 1,5)) + (0,009525 \times 0,6)] \\ &: 2012,156 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kebutuhan *in-plane moment of inertia*,

$$\begin{aligned} I &\geq 0,00307 \left( \frac{(t_2 - t_1) L^4}{h^2} \right) \\ &\geq 0,00307 \left( \frac{(0,009525 - 0,00635) \times 3^4}{0,6} \right) : 0,001316 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

Kebutuhan *out-of-plane moment of inertia*,

$$I \geq h_2 t_2^3 j, \quad \text{dengan } j = 2,5 (L_1/h_2)^2 - 2 \geq 0,5$$

$$J = 2,5 \times [3 / 0,6]^2 - 2 = 60,5 \geq 0,5 \text{ .....OK!}$$

$$I \geq 0,6 \times 0,009525^3 \times 60,5 = 3,14 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

Berdasarkan data kuat perlu di atas, ukuran mula – mula ditentukan. Untuk mempermudah perancangan, digunakan profil yang seragam untuk semua jenis LBE. Sehingga penentuan profil diambil berdasarkan kebutuhan *in-plane moment of inertia* yang terbesar, yaitu pada LBE “d”, sebesar  $0,001316 \text{ m}^4$ . Digunakan profil balok W360x421 yang mempunyai kekakuan / inersia sebesar  $0,0016 \text{ m}^4$ .

Dengan menggunakan ukuran yang telah ditentukan, sudut tegangan tarik dapat ditentukan dengan cara yang sama seperti pada desain mula – mula *webplate*.

$$\tan^4 \alpha = \frac{1 - \frac{tw L}{2A}}{1 + tw h \left[ \frac{1}{A} + \frac{h^3}{360 I L} \right]}$$

Tabel 7.1. Tabel penentuan sudut ( $\alpha$ ) tiap panel untuk SPSW dengan bukaan

Panel	Tebal (mm)	L, lebar (m)	h, panjang (m)	Pembilang	Penyebut	Sudut ( $\alpha$ )
1	6,35	3	1,5	1,177374	1,195978	44,89
2	6,35	1,5	1,5	1,088687	1,214581	44,22
3	6,35	3	1,5	1,177374	1,195978	44,89
4	9,525	3	0,6	1,266061	1,107139	45,96
5	9,525	3	0,6	1,266061	1,107139	45,96
6	6,35	3	1,5	1,177374	1,195978	44,89
7	6,35	1,5	1,5	1,088687	1,214581	44,22
8	6,35	3	1,5	1,177374	1,195978	44,89

Setelah sudut tegangan tarik ( $\alpha$ ) didapatkan, maka dapat ditentukan besar kuat geser di lapis atas, tengah, dan lapis bawah bukaan SPSW.

Kuat geser pelat di atas SPSW.

$$\begin{aligned} V_n &: 0,42 F_y t_1 [2 L_1 \sin (2\alpha_1) + L_2 \sin (2\alpha_2)] \\ &: 0,42 \times 250000 \times 0,00635 \times [(2 \times 3 \times \sin (2 \times 44,89)) + (1,5 \times \sin (2 \times 44,22))] \\ &: 5000,22 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kuat geser pelat di samping / sebaris SPSW.

$$\begin{aligned} V_n &: 0,42 F_y t_2 [2 L_1 \sin (2\alpha_4)] \\ &: 0,42 \times 250000 \times 0,009525 \times [2 \times 3,0 \times \sin (2 \times 45,96)] \\ &: 5997,38 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kuat geser pelat di bawah SPSW.

$$\begin{aligned} V_n &: 0,42 F_y t_1 [2 L_1 \sin (2\alpha_6) + L_2 \sin (2\alpha_7)] \\ &: 0,42 \times 250000 \times 0,00635 \times [(2 \times 3 \times \sin (2 \times 44,89)) + (1,5 \times \sin (2 \times 44,22))] \\ &: 5000,22 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kuat geser dengan nilai terkecil yang menentukan, digunakan  $V_n : 5000,22$  kN. Maka kuat geser rencana sesuai LRFD.

$$\phi_v V_n = 0,9 \times 5000,22 = 4500,2 \text{ kN}$$

Sebagai perbandingan, tanpa bukaan nilai sudut tegangan tarik ( $\alpha$ ) untuk lantai 7 adalah sebesar  $43,18^\circ$ , dengan begitu kuat gesernya adalah sebesar 4449,37



kN. Penambahan ketebalan di samping bukaan memberikan sedikit peningkatan pada kuat geser *webplate*.

Nilai kuat geser rencana ini harus dibandingkan dengan kuat geser terfaktor yang terjadi pada lantai 7. Seperti yang sudah didapatkan sebelumnya, *webplate* ternyata menahan 47.68% dari beban geser sebesar 4844.586 kN. Sehingga beban geser terfaktor yang harus dipenuhi adalah sebesar 2309.9 kN.

$$\phi V_n \geq V_u$$

$$4500,2 \text{ kN} > 2309,9 \text{ kN} \dots\dots\dots \text{OK}$$

Hal yang perlu diperhatikan lagi dalam perancangan bukaan pada SPSW adalah tidak seragamnya nilai kuat geser yang terjadi pada panel baris pertama / ketiga dengan panel pada baris kedua. Hal ini akan menyebabkan adanya tambahan beban geser pada VBE, yaitu sebesar selisih kuat geser antar panel.

$$V_u : 5997,38 - 5000,22 : 997,158 \text{ kN}$$

Reaksi pada HBE juga timbul akibat beban aksial dari LBE “a”. yaitu sebesar gaya aksial yang terjadi pada ujung LBE “a”.

$$N_u''a'' : 464,344 \text{ kN.}$$

Beban ini kemudian akan digunakan untuk tambahan beban dalam perancangan VBE dan HBE. Prosedur perancangan sama seperti yang telah dibahas sebelumnya.

## BAB VIII

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### VIII.1. Kesimpulan

Setelah dilakukan proses pembelajaran dan aplikasi analisis pemanfaatan SPSW pada sistem penahan lateral suatu gedung sederhana, beberapa kesimpulan yang dapat diambil.

1. *Steel plate shear walls* merupakan sistem penahan beban lateral pada bangunan baja yang mempunyai tingkat kekakuan yang baik, sehingga sangat direkomendasikan untuk digunakan pada gedung yang didirikan pada daerah rawan gempa.
2. Pada dasarnya, pelat baja pada rangka SPSW dirancang untuk mengalami tekuk ketika menerima beban gempa rencana. Dikarenakan tingkat kekakuan dan kekuatan pasca tekuk pelat yang sangat baik.
3. *Horizontal Boundary Elements* dan *Vertical Boundary Elements* adalah elemen struktur, balok dan kolom (disebut berurutan) yang dirancang untuk dapat menerima beban tambahan dari tegangan yang disalurkan akibat tegangan tarik pelat dengan sudut tekuk tertentu.
4. Ukuran HBE yang digunakan pada analisis ini adalah sama dengan profil yang digunakan pada balok lainnya yang tidak diberikan rangka SPSW, yaitu W460x421 untuk lantai 1-3, W460x349 untuk lantai 4-7, dan W460x213

untuk lantai 8-10. Pengecualian untuk lantai 3, 6, 8, dan 10 yang harus dirancang cukup kaku untuk menahan momen guling akibat perbedaan tebal pelat SPSW pada lantai di atas dan di bawahnya ( $I_{hbe} \geq 0.003 \frac{(\Delta tw)L^4}{h}$ ).

Profil yang digunakan adalah W690x607 (lt 3&6), W690x802 (lt. 8), dan W690x605 (lt. 10).

5. Ukuran VBE yang digunakan dalam analisis adalah W920x1262 (lt. 1-3), W920x1072 (lt. 4-7), W920x876 (lt.8-10). Ukuran profil ini bukan ukuran profil yang paling ekonomis, dikarenakan perancangan ini hanya dimaksudkan untuk tujuan pembelajaran. Besaran profil dalam analisis lebih ditentukan oleh perencanaan beban gempa.
6. Sistem rangka sudah memenuhi syarat desain kapasitas, sehingga diharapkan sendi plastis dapat terjadi pada lokasi yang ditentukan agar dapat mendisipasi energi dengan baik sehingga sambungan balok – kolom tidak sobek.
7. Perancangan bukaan pada sistem SPSW harus diikuti dengan penopang LBE sepanjang as VBE dan setinggi as HBE, kecuali aplikasi bukaan dengan ukuran tertentu sudah dibuktikan perilakunya dengan pengujian siklik.
8. SPSW yang diberikan bukaan berarti akan mengurangi lebar pelat, yang kemudian harus disubstitusi dengan pelat dengan kuat geser rencana lebih besar (tw lebih tebal) sehingga pelat tetap memenuhi syarat untuk menahan gaya geser yang bekerja.

## VIII.2. Saran

Dalam keseluruhan proses menyusun tugas akhir, terdapat beberapa ide dan pertanyaan yang mungkin akan bermanfaat sebagai bahan pertimbangan.

1. Perlu menjadi pertimbangan adalah SPSW pada lantai dasar, dimana sisi bawah pelat tidak disambungkan pada elemen struktur lainnya. Hal ini masih diabaikan pada tugas akhir ini.
2. Masih pada SPSW lantai dasar, dimana untuk pelat dengan ketebalan tertentu, perlu diperiksa apakah ada pengaruh dari tekanan tanah terhadap pelat.
3. Perancangan sambungan HBE-VBE dapat juga menggunakan sambungan *End Plate Moment* yang juga cukup populer.
4. Perancangan *Steel Plate Shear Walls* pada sistem struktur bangunan gedung perlu dipopulerkan di Indonesia, dikarenakan perilakunya yang sangat baik dan juga menghasilkan bangunan yang lebih ringan.
5. Penggunaan sistem ganda dengan SPSW dan bresing eksentrik dapat ditelaah untuk melihat kinerja kedua sistem berbeda dalam kesatuan sistem struktur.
6. Alternatif aplikasi sambungan RBS dengan coakan pada badan sudah menjadi pembicaraan hangat. Dapat dijadikan perbandingan dengan RBS biasanya baik dari efisiensi dan perilakunya.

## DAFTAR PUSTAKA

AISC 341 (2010), *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*, American Institute of Steel Construction, Chicago, IL.

AISC 358 (2010), *Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications*, American Institute of Steel Construction, Chicago, IL.

AISC 360 (2010), *Specification for Structural Steel Buildings*, American Institute of Steel Construction, Chicago, IL.

Ashrafi Y., Rafezy B., dan Howson W.P. (2009), *Evaluation of Performance of Reduced Beam Section (RBS) Connections in Steel Moment Frames Subjected to Cyclic Loading*, World Congress on Engineering, London.

Astaneh Asl A. (2000), *Steel Plate Shear Walls*, US-Japan Workshop on Seismic Fracture Issues in Steel Structures, San Fransisco.

Berman B, dkk. (2010), *Performance Design Tools for Steel Plate Shear Walls*, ASCE, Washington.

Berman B., dan Bruneau M. (2003), *Plastic Analysis and Design of Steel Plate Shear Walls*, ASCE.

Berman B., dan Bruneau M. (2008), *Capacity Design of Vertical Boundary Elements in Steel Plate Shear Walls*, Engineering Journal, Seattle

Canadian Institute of Steel Construction. (2005), *Moment Connections for Seismic Applications*, CISC, Ontario.

Ekiz E., dkk (2004), *Enhancing Plastic Hinge Behavior In Steel Flexural Member Using CFRP Wraps*, 13<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver.

Iwankiw N. (2004), *Seismic Design Enhancements and the Reduced Beam Section Detail for Steel Moment Frames*, ASCE.

Jones S.L., Fry G.T., dan Engelhardt M.D. (2000), *Reduced Beam Section Welded Steel Moment Frames*, 12 WCEE 2000, Texas.

Lee C.H., dan Kim J.H. (2003), *Seismic Design of Reduced Beam Section (RBS) Steel Moment Connection with Bolted Web Attachment*, Seoul National University, Korea.

Neagu C., Dubina B., dan Dinu F. (2002), *Seismic Performance of Ductile Shear wall Frame Systems*, 11<sup>th</sup> WSEAS International Conference on Sustainability in Science Engineering, Romania.

Sabelli R., dan Bruneau M. (2007), *Design Guide 20 : Steel Plate Shear Walls*, American Institute of Steel Construction, Chicago, IL.

Sabelli R., dan Ericksen S. (2008), *A Closer Look at Steel Plate Shear Walls*, Steelwise, Chicago, IL.

Sabelli R., Bruneau M., dan Driver R. G. (2008), *Steel Plate Shear Walls in the Upcoming 2010 AISC Seismic Provisions and 2009 Canadian Standard S16*, American Society of Civil Engineer.

Selie I.F., dan Hooper J.D. (2005), *Steel Plate Shear Walls : Practical Design and Construction*, Modern Steel Construction.

Shishkin J.J., Driver R.G, dan Grondin G.Y. (2005), *Analysis of Steel Plate Shear Walls Using The Modified Strip Model*, University of Alberta, Canada.

Qu Bing., Bruneau M. (2010), *Behavior of Vertical Boundary Elements in Steel Plate Shear Walls*. Engineering Journal, California.